CONSORTIUMS PHOTOVOLTAÏQUES

METTANT EN JEU

LA FRANCE ET LE CANADA

par

J.H. SIMPSON

COSIM SOLAR RESEARCH LTD.

OTTAWA, CANADA

CONSORTIUMS PHOTOVOLTAÏQUES METTANT EN JEU LA FRANCE ET LE CANADA

par

J. H. SIMPSON
Janvier 1982

Préparé pour le
Bureau de la conservation et des énergies renouvelables
Énergie, Mines et Ressources Canada
Ottawa, Canada
sous
Commande n° 1495846
Référence n° 23380-1-6734

Responsable de project: le directeur général adjoint du
Bureau de la conservation et des énergies renouvelables
Énergie, Mines and Ressources

Agent du projet: G. Winstanley

COSIM SOLAR RESEARCH LTD.
2184, avenue Braeside
OTTAWA, CANADA K1H 7J5

TABLE DES MATIÈRES

		PAGE
RÉSUMÉ		
1.	INTRODUCTION	1
2.	LE CONTEXTE TECHNIQUE ET COMMERCIAL EN FRANCE	3
2.1	Aide financière	3
2.1.1	La Commission des communautés européennes	
2.1.2	Le Commissariat à l'énergie solaire (COMES)	
2.1.3	Diverses contributions gouvernementales	
2.2	Fabricants français de modules PV	4
2.2.1	Photowatt International S.A.	
2.2.2	France-Photon	
2.2.3	Photon Power Inc.	
2.3	Fabricants de composants de systèmes	7
2.4	Recherche et développement en matière photovoltaïque en France	10
2.4.1	Matières	
2.4.2	Cellules et modules solaires	
2.4.3	Systèmes	
3.	SITUATION DE L'INDUSTRIE PHOTOVOLTAÏQUE AU CANADA	12
3.1	Aide financière	12
3.2	Fabricants et importateurs de modules et de systèmes PV	13
3.2.1	Fabricants canadiens de dispositifs et de modules PV	
3.2.2	Agents de compagnies étrangères	
3.2.3	Compagnies fabriquant les systèmes	
3.3	Composants des systèmes	14
3.4	Recherche et développement	15
3.4.1	Matières	
3.4.2	Cellules et modules solaires	
3.4.3	Systèmes	
4.	FACTEURS INFLUENÇANT LA CONSTITUTION D'UN CONSORTIUM	16
5.	CONSORTIUMS POSSIBLES AU CANADA	21
5.1	Dispositifs et circuits de commande et de conditionnement de la puissance	21
5.2	Production de batteries pour les systèmes PV	21
5.3	Montage de systèmes PV au Canada	22
5.4	Fabrication des dispositifs et des modules PV au Canada	22
6.	APPROCHE RECOMMANDÉE CONCERNANT DES CONSORTIUMS CANADIENS	23
7.	FACTEURS EXIGEANT DES RECHERCHES	23

RÉSUMÉ

On considère les possibilités d'un arrangement coopératif entre des investisseurs français et canadiens en vue de la fabrication de dispositifs et de systèmes photovoltaïques (PV). Comme information de base, on décrit brièvement les situations techniques et commerciales en France et au Canada. Nous concluons que le partenaire le plus prometteur pour un groupe d'investisseurs canadiens serait Photowatt International S.A., membre du groupe de la Compagnie générale d'éléctricité (CGE) qui comprend aussi plusieurs fabricants de batteries. La Direction de Photowatt S.A. et celle du Commissariat à l'Énergie Solaire (COMES), du gouvernement français, ont exprimé leur désir de voir un arrangement coopératif.

Étant donné la situation d'avant-garde de la technologie française de fabrication des cellules et des modules PV, nous avons conclu qu'au départ, l'avenue la plus prometteuse pour une opération canadienne est probablement dans le domaine de la commande des systèmes et du conditionnement de la puissance. Les connaissances des compagnies canadiennes pourraient être adaptées à ce domaine et un groupe canadien financé par des investisseurs canadiens et probablement français pourrait peut-être jouer un rôle important dans l'opération PV de la Photowatt. Par la suite, la fabrication de cellules et de modules solaires pourrait se faire au Canada en faisant appel à un fabricant de cellules PV existant ou à une nouvelle compagnie.

On examine les facteurs importants influant sur un arrangement coopératif et on décrit une approche recommandée pour la constitution d'un groupe d'investisseurs canadiens. Enfin, on mentionne les facteurs nécessitant une recherche — entre autres, les relations entre la Photowatt International S.A. et la Photowatt International Inc., la compagnie-soeur américaine, ainsi que d'autres arrangements possibles entre le groupe CGE et d'autres compagnies du continent américain.

1. INTRODUCTION

Des groupes d'investisseurs canadiens, particulièrement dans la province de Québec, s'interessent au domaine photovoltaïque en tant que secteur en développement nécessitant des investissements en capitaux et promettant une rentabilité importante de cet investissement en quelques années. Le ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources du Canada dont le mandat comprend le soutien des initiatives visant à l'exploitation des énergies renouvelables, est désireux de promouvoir la coopération internationale dans le domaine des énergies renouvelables, particulièrement avec les pays ayant les liens culturels et linguistiques étroits avec le Canada. Il est heureux que l'un des pays avec lesquels le Canada a des liens historiques forts, dans ce cas la France, est aussi un pays où les recherches, le développement et l'application des dispositifs et des systèmes photovoltaïques (PV) sont les plus avancés. En outre, il existe déjà un arrangement coopératif étroit mettant en jeu des échanges d'information sur les énergies renouvelables et des réunions entre les deux pays.

En raison de ces facteurs, le temps semble être approprié pour essayer d'élargir l'arrangement coopératif existant entre la France et le Canada afin d'y inclure des entreprise commerciales. De telles entreprises pourraient comprendre des concessions de licences réciproques, des transferts de technologie et des investissements en commun dans des filiales ou des sociétés associées. Ces dernières pourraient être engagées dans la fabrication de différents composants des systèmes PV en plus de la fabrication des cellules et des modules PV. (Un module PV est constitué d'un groupe de cellules PV individuelles connectées électriquement et protégées contre les manipulations et les intempéries par une certaine forme d'encapsulation. Le module le plus courant comprend de 32 à 36 cellules en série et est conçu pour charger une batterie de 12 volts). Les plus importants des composants supplémentaires sont les batteries, les régulateurs pour le contrôle de la charge des batteries, les circuits de poursuite de la puissance maximale dont le but est de faire fonctionner les cellules PV avec le meilleur rendement possible, les convertisseurs de courant continu (cc) pour produire des potentiels d'alimentation en cc autres que ceux de l'alimentation principale et les onduleurs pour convertir le courant de sortie (cc) des cellules et des batteries en courant alternatif (ca) de

sorte qu'on puisse alimenter des matériels classiques avec une source d'éléctricité PV. En plus de tous ces composants du système PV, il existe d'autres matériels connexes comme les lampes flourescentes, les moteurs cc et ca, les pompes à eau, les réfrigérateurs, les relais, les émetteurs et les récepteurs de radio, et les récepteurs de télévision qui pourraient et devraient être repensés pour fonctionner avec le meilleur rendement possible en vue des applications du système PV.

Pour qu'un arrangement commercial puisse exister et apporter des bénéfices aux deux pays sans qu'un des deux a une participation absolue, il semble évident qu'il faille remplir les conditions suivantes:

1.1 Chaque pays doit avoir des marchés qui pourraient être desservis par les entreprises commerciales en commun. Cette condition est relativement remplie; dans les deux pays il existe des applications pour les systèmes photovoltaïques dans les domaines des communications, des aides à la navigation, des chemins de fer, etc., bien que la superficie des territoires vierges pour de telles applications soit probablement beaucoup plus considérable au Canada. Par contre, la France dispose d'un champ immense dans le Tiers-Monde: ses anciennes colonies et les pays associés d'Afrique. Dans une moindre mesure, certaines parties des Antilles avec lesquelles le Canada a développé des liens assez étroits devraient aussi constituer des marchés.

1.2 Les deux pays devraient être capables d'apporter une contribution technique importante. Dans le cas de la France, la forme de cette contribution est bien établie et l'un des principaux objectifs du présent rapport est de la décrire en détail. Au Canada, l'industrie photovoltaïque est beaucoup moins développée et l'autre principal objectif de ce rapport est de recommender les secteurs dans lesquels les efforts du Canada devraient se concentrer et vers lesquels les connaissances existantes dans d'autres domaines devraient être transférées.

2. LE CONTEXTE TECHNIQUE ET COMMERCIAL EN FRANCE

2.1 Aide financière

Avant de décrire la situation technique et commerciale en France, il est peut-être bon de mentionner les sources d'aide financière qui ont rendu possible un grand développement des techniques photovoltaïques dans ce pays. Ces sources sont:

2.1.1 La Commission des communautés européennes (CCE) dont le siège est à Bruxelles, fournit entre 25 et 50 % du financement pour un certain nombre de projets concernant les systèmes d'énergie PV dépassant 5 kWc (kilowatts crête)[1] répartis entre les différents membres de la communauté. (Les projets inférieurs à 5 kWc incombent à l'industrie et le gouvernement dans le pays concerné). Dix-neuf de ces projets totalisant 1,3 MW (mégawatts) et significiant pour la CCE une dépense de l'ordre de 13 millions de dollars[2] pendant deux années sont actuellement en cours. Le plus grand d'entre eux est un projet de 300 kW en Allemagne de l'Ouest. Deux projets, chacun de 50 kW, sont exécutés en France.

2.1.2 Le Commissariat à l'énergie solaire (COMES) de France, dont le budget pour l'aide au projet photovoltaïque en 1981 est de l'ordre de 41 millions de francs français (FF) ou 8,5 millions de dollars[3]. Cet argent sert pour les recherches de base sur les matières (principalement le silicium) et les dispositifs, le développement des systèmes et la construction de projets pilotes dans les laboratoires du gouvernement, les universités et les compagnies.

1. Le nombre de watts crête (Wc) fourni par un module PV ou un groupe de tels modules représente son rendement lorsque l'ensoleillement incident est de 1000 watts (1,0 kW) par mètre carré (m^2) à une température ambiante spécifiée (par ex. 25 °C).

2. Tous les chiffres en dollars dans le présent rapport sont en dollars canadiens en supposant que 1.00 $ canadien est égal à 0,84 $ américain.

3. Ces chiffres estimatifs sont calculés par l'International Institute for Environment and Development, Washington DC, à partir de données fournies par le COMES.

2.1.3 Diverses contributions gouvernementales à la recherche, au développement et aux projets pilotes dans les ministères, les organismes publics, les administrations locales, les industries, etc., dont le total est probablement environ trois fois le chiffre ci-dessus[3].

Il est intéressant de noter que le soutien du gouvernement fédéral du Canada pour les projets photovoltaïques s'élève à 1,6 million de dollars environ. Les autres contributions canadiennes sont très faibles de sorte que les dépenses canadiennes consacrées aux projets photovoltaïques par tête sont probablement inférieures à 9 % des mêmes dépenses en France.

2.2 Fabricants français de modules PV

La fabrication des modules PV en France est dominée par les compagnies suivantes:

2.2.1 Photowatt International S.A. - La Société française des Photopiles (SFP) est le principal actionnaire (51%) de cette compagnie; la SFP est un holding agissant pour la Compagnie générale d'électricité (CGE), fabricant français important de matériels électriques et électroniques (51%). Elf Aquitaine, la compagnie nationale de pétrole possède 35% de SFP et le groupe hollandais Philips détient les 14% restant par l'intermédiaire de la Radiotechnique Compelec (RTC), filiale de Philips. Comme nous l'indiquons plus loin les 49% restants de Photowatt International SA appartiennent à SAFT Corporation of America. La Photowatt a été fondée en 1979 par deux filiales de la CGE, la Société des Accumulateurs Fixes et de Traction (SAFT) et la Compagnie Industrielle des Piles Électriques (CIPEL) qui ont fourni des batteries et ont assemblé des systèmes PV pendant plus d'une décennie. Le groupe de recherches pour les compagnies du groupe CGE est constitué par les Laboratoires de Marcoussis. Ils sont actifs dans les recherches portant sur les matières et des dispositifs PV, et les nouveaux développements qui en découleront devraient être normalement exploités par la Photowatt.

La Photowatt International SA est associée avec la Photowatt International Incorporated, une firme américaine qui, jusqu'à récemment, était contrôlée à 51% par Dyneer Corporation des États-Unis, par l'intermédiaire de sa filiale la Sensor

Technology Inc. Les 49% restants de la Photowatt Inc. sont détenus par la SFP. Récemment, la SAFT Corporation of America, une autre filiale du groupe CGE, a acheté la participation de Dyneer dans la Photowatt Inc. (51%) et dans la Photowatt SA française (49%) et semble être à la recherche d'un autre partenaire américain pour partager les investissements de la Photowatt et peut-être apporter un réseau commercial. L'intention première de l'association des deux compagnies Photowatt était que la Sensor Technology et la CGE coopéreraient dans un développement technologique au moyen de concessions de licences réciproques. Il apparaît que la Photowatt SA et la Photowatt Inc. avaient l'intention d'utiliser le procédé de la Sensor Technology pour fabriquer des cellules solaires PV en silicium. Cet accord, et en fait toute la relation entre les deux compagnies Photowatt, a été remis en question par l'acquisition récente par la Photowatt SA de l'usine de fabrication des cellules et des modules PV en silicium de la Radiotechnique Compelec (RTC) à Caen, en Normandie. La RTC, filiale du groupe Philips, fournissait auparavant des cellules et modules PV en silicium monocristallin à tout le groupe international Philips. Ainsi, le groupe Philips ne fabrique plus les cellules et les modules PV et son usine moderne, bien organisée, de Caen fournit ces produits à la Photowatt SA et à un grand nombre d'anciens clients du groupe Philips. La Photowatt SA construit aussi une nouvelle usine de systèmes PV à son siège social de Rueil-Malmaison dans la banlieue parisienne.

Il faut mentionner que le groupe CGE est déjà établi au Canada grâce à ses filiales SAFT-CIPEL qui ont plusieurs usines au Canada et qui viennent juste de lancer une action dans le domaine des systèmes à Toronto (Ont.). Leur première intention est d'importer des pièces pour les batteries au plomb à partir de l'une de leurs usines se trouvant en dehors du Canada et d'assembler les batteries au Canada. Lorsque le marché sera suffisamment bien développé, ces filiales fabriqueront les batteries au plomb au Canada. D'autres pièces servant au système PV pourront probablement être achetées localement ou importées.

Notons enfin que la nationalisation de la CGE et de ses compagnies associées doit se faire incessamment. Il est difficile de voir comment cela pourra influencer les arrangements existants et futurs avec des groupes dans d'autres pays. Actuellement, il apparaît que les arrangements commerciaux classiques, les con-

cessions de licences réciproques, etc., continueront comme par le passé. Le gouvernement français subventionne déjà, par l'intermédiaire du COMES, des projets mettant en jeu des compagnies privées qui ont des arrangements coopératifs avec des compagnies dans d'autres pays. Probablement, les arrangements mettant en jeu une compagnie française nationalisée et des compagnies privées dans d'autres pays seraient traités de la même manière.

2.2.2 France-Photon - Cette compagnie, fabricant de cellules et de modules PV en silicium, est contrôlée à 50% par la Solarex Corporation (États-Unis) et à 50% par la Moteurs Leroy-Somer de France. Cette dernière est la principale usine de fabrication de moteurs éléctriques petits et moyens en Europe. Elle a une filiale les Pompes Guinard, qui monte les dispositifs d'alimentation PV en utilsant ses propres pompes et des régulateurs, des convertisseurs, des batteries, etc., fabriqués par Leroy-Somer. Le groupe L-S se dit le seul en France à fabriquer tous les composants des dispositifs d'alimentation PV. A l'heure actuelle, il ne vend pas les différents composants séparément mais fournit seulement le système au complet.

La France-Photon dispose des procédés parfaitement au point de Solarex. Elle importe les cellules en silicium monocristallin de Solarex mais fabrique les cellules en silicium polycristallin en utilisant le procédé "Semix" de la Solarex dans son usine d'Angoulème. D'après les raisons données plus loin sous le titre "Recherche et développement" on prévoit que le silicium polycristallin déplacera le silicium monocristallin dans un proche avenir.

La France-Photon se dit capable de produire des cellules solaires à une cadence de 1,0 mégawatt (MW) par an. Elle reçoit une aide contractuelle pour la recherche et le développement de COMES (700 000 $ environ en 1980).

2.2.3 Photon Power Inc. - C'est une usine privée qui fabrique des cellules en film mince de sulfure de cadmium (CdS) - sulfure cuivreux (Cu_2S) (qu'on appelle souvent cellules de sulfure de cadmium); elle est contrôlée par des capitaux français (55%) et américains (45%) mais devrait probablement être considérée

comme une compagnie américaine plutôt que comme une compagnie française. Elle possède une usine capable de produire 2,5 MW par an à El Paso au Texas. Cependant, le rendement de ces dispositifs est faible (de l'ordre de quelques pour cent) et il est douteux qu'ils puissent faire une grande impression sur les marchés des systèmes PV à court terme. Des recherches importantes sur le CdS-Cu_2S ont été faites en Europe et aux États-Unis, mais cette solution ne semble pas encore être compétitive avec le silicium.

2.3 Fabricants de composants de systèmes

En plus des modules PV, tout dispositif d'alimentation exige d'autres composants éléctriques et mécaniques connexes. Il faut aussi des circuits pour remplir les différentes fonctions de commande et de conversion mentionnées dans l'introduction. Le terme général "conditionnement de la puissance" est souvent utilisé pour décrire ces fonctions.

En France, un grand nombre de ces composants et circuits sont fournis par des groupes de compagnies comme Leroy-Somer et OMERA-SEGID. Le dernier est un grand fournisseur de matériel radar pour usages civils et militaires, de systèmes de communication pour l'aéronautique, de systèmes de commande automatique pour les trains, de matériel météorologique, d'appareils de photographie aérienne, etc. OMERA est une filiale du groupe Philips et a utilisé les modules Philips (RTC) dans le passé. Elle continue avec des modules Photowatt bien qu'elle puisse passer des accords avec d'autres fournisseurs de modules. Elle import des batteries (Varta) d'Allemagne et achète des pompes et des moteurs ainsi que de grands onduleurs (6kW). La plupart de leurs dispositifs de commande électronique sont faits sur place, comme on doit s'y attendre étant donné leur expérience dans d'autres applications électroniques. Comme dans le cas de Leroy-Somer, ils ne vendent leurs systèmes qu'au complet et sont actifs dans ce domaine depuis un an et demi environ.

En plus de ces deux groupes il existe d'autres grandes et beaucoup de petites compagnies, en France et dans d'autres parties de l'Europe de l'Ouest, qui fabriquent des composants pour les systèmes PV et du matériel spécial tel que des pompes, des lampes et des réfrigérateurs qui seront alimentés par ces sytèmes. Selon les membres du COMES, un activité commerciale intense dans ce domaine a commencé il y a deux ans environ.

Le Tableau I qui suit énumère les compagnies françaises qui montent des systèmes PV ou qui fabriquent des composants. On mentionne entre parenthèses les applications ou les composants ayant une fonction spéciale.

TABLEAU I

Fabricants français de systèmes et de composants PV

Nom de la Compagnie	Adresse
BLOMME	8, rue Maréchal Foch 78660 MAISON LAFITTE
ELF AQUITAINE - DIENIC	7, rue Nélation 75015 PARIS
LEROY SOMER	Boîte Postale 119 16004 ANGOULEME
OMERA SEGID	49 rue Ferdinand Berthoud 95101 ARGENTEUIL
PHOTOWATT INTERNATIONAL S.A.	131, rue de l'Empéreur RUEIL MALMAISON

SERI	2, ave de Vieil Etang 78390 BOIS D'ARCY
SOLELEC	111, Route de Toulouse Chemin de Poutingon 34100 MONTPELLIER
BRIAU SA (Pompage)	Boîte Postale 0903 37009 TOURS CÉDEX
CLAUDE (Signalisation)	27 - 29 rue de Sèvres 92103 BOULOGNE BILLANCOURT
GUINARD (Pompage)	197 boulevard Saint Denis 92400 COURBEVOIE
ELENE (Télévision)	53, rue Fondary 75015 PARIS
OFERMAT (Signalisation ferroviaire)	38, rue de la Bruyère 75009 PARIS
SNIAS (Concentration)	37, boulevard de Montmorency 75781 PARIS CÉDEX 16
SOFREAVIA SERVICE (Signalisation Aérienne)	2, rue d'Artois 75008 PARIS
SOFRETES (Pompage)	Z.I. d'Amilly B.P. 163 45203 MONTARGIS
TÉLÉDIFFUSION DE FRANCE (Télécommunication)	21 - 27 rue Barbes 92120 MONTROUGE

Un secteur où il était difficile d'obtenir des informations précises comprenait les commandes électroniques, la protection et la conversion. Les grandes compagnies fabriquant des systèmes ont tendance à utiliser leurs propres installations pour de tels développements et à garder toute étude spéciale aussi secrète que possible, pour des raisons commerciales. Il existe aussi une tendance à minimiser les aspects de poursuite de puissance (rendement maximal) à cause du coût du matériel électronique nécessaire et parce que, pour un grand nombre d'applications dans les pays africains, on dispose de longues périodes d'ensoleillement. Le principal problème consiste donc le plus souvent à protéger les batteries pour les empêcher de surcharger plutôt que d'extraire le plus d'énergie possible sous un ensoleillement faible. Pour des applications dans des pays situés plus au nord, comme la France, l'Allemagne et le Canada, les conditions de faible ensoleillement peuvent durer plus longtemps et un dispositif de poursuite de la puissance maximale à faible coût peut s'avérer très rentable. Parallèlement, afin de minimiser la taille du système et par conséquent son coût, il est important que les circuits de conversion (cc en cc) et d'ondulation (cc en ca) aient le meilleur rendement possible.

Le domaine du conditionnement de la puissance semble être en évolution et il reste de la place pour des travaux de développement considérables afin d'améliorer le rendement et de réduire les coûts. Comme nous le faisons remarquer plus loin, il y a probablement là un secteur où le Canada pourrait apporter une contribution importante.

2.4 Recherche et développement en matière photovoltaïque en France

Comme nous l'avons déjà mentionné, la plus grande partie des efforts de recherche et de développement portant sur les systèmes photovoltaïques en France bénéficient de l'aide du COMES. Ces efforts portent sur les domaines suivants:

2.4.1 Matières - On attache une importance considérable aux méthodes offrant un faible coût de production pour le silicium de qualité solaire. Comme ailleurs dans le monde, on est généralement convaincu que le silicium dominera le marché commercial des cellules solaires pendant encore un grand nombre d'années.

Actuellement, la plus grande partie du silicium utilisé dans l'industrie PV française vient d'Allemagne ou des États-Unis sous la forme de silicium monocristallin ou polycristallin. On consacre donc le plus grand effort à la mise en valeur de sources françaises de silicium. Deux grandes compagnies chimiques, Péchiney Ugine Kuhlman (P.U.K.) et Rhône-Poulenc Industries sont concernées par ces recherches.

La croissance cristalline du silicium sous forme de ruban mince monocristallin ou polycristallin, est actuellement en cours d'étude et l'objectif de cette opération est d'éviter le procédé coûteux du sciage des lingots en rondelles minces pour la fabrication de dispositifs PV. A cet égard les recherches à long terme sur les monocristaux se font dans les laboratoires du gouvernement comme le Centre national de la recherche scientifique (CNRS) alors que les études à court terme sur les rubans polycristallins sont effectuées dans les Laboratoires de Marcoussis (LdM) de la CGE. On produit actuellement des rubans de 2 cm de large qui donnent des cellules ayant des rendements de l'ordre de 6-8%. On prévoit la fabrication de rubans de 5 cm ayant des rendements de l'ordre de 10-11% destinés aux fabrications à l'usine de la Photowatt SA vers 1986.

2.4.2 Cellules et modules solaires - Les recherches dans ce domaine comprennent des études sur le silicium amorphe et son application dans la production de cellules bon marché et à couche mince. Ces études sont effectuées dans les universités, les laboratoires du gouvernement et les LdM.

Les études des méthodes à faible coût, qui consistent à déposer des dopants de type n en silicium et à mettre en forme des électrodes métalliques collectrices du courant produit, sont effectuées aux LdM et dans les laboratoires de la Photowatt SA et de la France-Photon.

Les développements en cours comprennent la connexion automatique des cellules en modules (France-Photon) et l'encapsulation améloirée (LdM et Photowatt SA)

Tout cela se rapporte aux modules PV en plaques pour lesquels aucun effort n'a été fait pour concentrer le rayonnement incident. Il y a aussi un certain effort de R et

D portant sur les cellules PV pour l'utilisation avec des concentrateurs de poursuite. Cependant, la complexité mécanique des concentrateurs de poursuite ainsi que leur incapacité de mettre à profit une quantité appréciable de lumière diffuse tendent à les écarter dans un proche avenir.

2.4.3 Systèmes - En plus de ce que nous avons déjà mentionné, il existe aussi un financement important par les compagnies, par les ministères et un certain financement par le COMES pour les composants du système et les appareils électriques spécialement adaptés à l'utilisation avec une alimentation par PV. Comme nous l'avons déjà mentionné au paragraphe 2.1.1 ci-dessus, la Commission des communautés européennes soutient deux grand projets en France continentale; un troisième projet de 60 kW dans l'île de la Réunion, dans Océan Indien, est aussi partiellement financé par le CCE.

3. SITUATION DE L'INDUSTRIE PHOTOVOLTAÏQUE AU CANADA

3.1 Aide financière

L'aide apportée au développement des dispositifs et des systèmes PV au Canada est en grande partie le fait du gouvernement fédéral et elle est principalement consacrée à la recherche et au développement mais une nouvelle aide est consacrée à la construction de systèmes à partir desquels on peut tirer des données d'essai sur le terrain. L'aide totale apportée par le gouvernement du Canada s'élève à 1,6 million de dollars par an environ, dont 1,1 million de dollars environ par le canal du Conseil national de recherches (CNRC) et 0,5 millions de dollars par celui du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie (CRSNG). Cette dernière fraction est consacrée aux recherches universitaires, principalement dans le cadre du programme de subventions thématiques du CRSNG et l'aide du CNRC est consacrée aux contrats industriels et à quelques contrats connexes de sous-traitance universitaire.

En outre, une aide pour des projets spécifiques vient des gouvernements provinciaux, et une aide consacrée aux compagnies vient du ministère de l'Industrie et du Commerce pour la mise en place de l'appareil de production. Le total de ces aides ne dépasse probablement pas 200 000 $ par an.

Un programme coopératif faisant appel aux gouvernements fédéral et provinciaux et aux administrations territoriales a été mis en oeuvre récemment dans le cadre de l'Accord sur la démonstration des énergies renouvelables au Canada (ADERC). Lorsque ce programme sera en pleine marche, il pourrait supporter le coût des projets PV, soit environ plusieurs millions de dollars par an.

3.2 Fabricants et importateurs de modules et de systèmes PV

L'industrie des modules PV au Canada comprend les groupes suivants:

3.2.1 Fabricants canadiens de dispositifs et de modules PV - Ces fabricants qui sont indépendants de toute ingérence étrangère sont:

I) Silonex Inc. (Anciennement National Semiconductors Ltd.)
2150 Ward Street
Montréal, Québec H4M 1T7 Tél. (514) 744-5507
Président: Dr. D.A. Anderson

II) Solar Cells Limited
3327 D Mainway, P.O. Box 1025
Burlington, Ontario L7P 3S9 Tél. (416) 335-4713
Président: Dr. J. Shewchun

III) TPK Solar Systems Inc.
149 Bentley Avenue, B-4A
Nepean, Ontario K2E 6T7 Tél. (613) 225-4403
Président: Dr. R.E. Thomas

Ces trois compagnies fabriquent et vendent des dispositifs et des modules PV monocristallin depuis presque un an déjà. Leurs clients actuels sont constitués, en grande partie, par les ministères du gouvernement du Canada ou par des groupes ou des compagnies associés aux gouvernements des provinces.

3.2.2 Agents de compagnies étrangères - Les fabricants étrangers ayant des agences ou des représentants au Canada sont les compagnies américaines ARCO Solar, Motorola, Solarex et Solar Power Corp., la compagnie AEG-Telefunken de l'Allemagne de l'Ouest (qui a une filiale canadienne, Bayly Engineering) et, jusqu'à récemment, le groupe néerlandais Philips. La principale fonction de ces groupes est la vente de générateurs d'électricité utilisant leurs propres modules. Ils fournissent aussi des modules aux compagnies canadiennes qui assemblent les générateurs d'électricité. Ils sont alors en concurrence directe avec les fabricants canadiens de modules et peuvent, en général, casser les prix des fabricants canadiens à cause de leur plus grande production et de leur automatisation plus avancée. Le prix canadien le plus bas est de l'ordre de 17$ américain par watt-crête (Wc) alors que le prix américain est de l'ordre de 12$ ou moins, selon la quantité.

3.2.3 Compagnies fabriquant les systèmes - Quelque petites compagnies canadiennes commencent à se lancer dans le montage des systèmes PV. Pour le moment, ces compagnies s'occupent principalement des projets recevant une aide des gouvernements ou financés par de groupes internationaux. L'expérience en matière d'application des systèmes est limitée certes mais s'accumule assez rapidement. Les Canadiens sont probablement environ deux ans derrière les principaux groupes des États-Unis, de la France et de l'Allemagne de l'Ouest. Un petit nombre de filiales de compagnies étrangères au Canada vendent aussi de petits systèmes.

3.3 Composants des systèmes

En général, la fabrication des composants des systèmes PV au Canada n'est pas très en avance. Le statut des différents composants est comme suit:

Moteurs et pompes: sont importés, principalement des États-Unis, soit directement par des agences, soit par des filiales canadiennes de compagnies américaines. Certains sont importés d'Europe, principalement d'Allemagne de l'Ouest.

Batteries: certaines sont fabriquées au Canada par des succursales de firmes américaines ou par petits fabricants indépendants de batteries pour usages industriels.

Circuits électroniques de commande et de conversion: un certain nombre de petites et moyennes compagnies électroniques peuvent construire des circuits pour la commande, la conversion et la poursuite de la puissance maximale. Certains éléments sont importés des États-Unis.

3.4 Recherche et développement

Nous décrivons brièvement ci-dessous les actions de recherche de développement qui bénéficient largement de l'aide mentionnée:

3.4.1 Matières - Au Canada, on ne fabrique pas de silicium de qualité "semiconducteur" ni de qualité solaire. Il existe au moins deux mines de quartz dont la production est d'une pureté suffisante pour servir de matière première à la production de silicium. Les méthodes de production de silicium de qualité solaire sont au stade des recherches préliminaires.

3.4.2 Cellules et modules solaires - Des recherches de développement portant sur l'encapsulation et la construction des modules sont actuellement en cours chez les fabricants de cellules solaires. Les recherches à court terme sur les dispositifs en silicium à barrière de surface (dispositifs Schottky, métal-isolant-semiconducteur et semiconducteur-isolant-semiconducteur) sont actuellement en cours, grâce à l'aide du gouvernement, chez les fabricants de cellules solaires et dans les universités. Les recherches à plus long terme sur les dispositifs à couche mince et à composés frittés utilisant des matières autres que le silicium, ainsi que des couches de silicium amorphe, sont actuellement en cours chez les fabricants de cellules solaires, dans les universités et dans les laboratoires du gouvernement.

3.4.3 Systèmes - Certains travaux de développement sur les systèmes sont effectués par des compagnies, des universités et les laboratoires du gouvernement

(CNRC). La plus grande partie de ces travaux en sont à leurs débuts. Pratiquement, aucun travail de développement ne se fait encore sur les appareils, les lampes, etc., conçus spécialement pour l'application des systèmes PV. On pourrait adapter certains appareils électriques et certaines lampes, (conçus pour être utilisés par des campeurs ou des chasseurs avec une batterie d'automobile) à l'emploi avec des systèmes PV, mais ils devraient probablement être conçus d'une autre manière pour réduire la consommation d'électricité.

4. FACTEURS INFLUENÇANT LA CONSTITUTION D'UN CONSORTIUM

Avant d'étudier la démarche qu'un consortium canadien peut suivre pour tenter d'établir un arrangement coopératif dans le domaine photovoltaïque avec une compagnie française, il est important de considérer les facteurs suivants qui influenceraient l'approche choisie:

4.1 Parmi les principaux groupes français qui fabriquent de dispositifs PV, la Photowatt International SA est le candidat le plus prometteur pour la constitution d'un consortium. L'autre principal fabricant de dispositifs, la France-Photon a déjà des accords de partage de technologie et de partage de marchés avec Solarex des États-Unis qui contrôle une fraction importante de la France-Photon. Parallèlement, la Photon Power Inc. est essentiellement un fabricant américain. En outre, son produit (les cellules CdS - Cu_2S) n'offre pas les promesses à court terme du silicium.

Parmi les grands fabricants de systèmes PV et les fabricants de composants français, le groupe de la CGE qui comprend la Photowatt, SAFT-CIPEL et d'autres fabricants de batteries, ainsi que des compagnies de matériel électronique et électrique industriel, pourrait probablement être de la partie dans un accord avec la Photowatt. Parmi les autres grandes compagnies fabricant des systèmes, Leroy-Somer est déjà associé avec la Solarex dont elle est actionnaire. Toute compagnie canadienne associée au groupe serait par conséquent dans l'orbite américaine plutôt que dans l'orbite française. La grande compagnie française restante, OMERA-SEGID fabricant de systèmes est une filiale du groupe Philips.

Un grand nombre de compagnies énumérées au Tableau I fournissent des composants aux grands fabricants de systèmes. Un arrangement avec un grand groupe tel que CGE-Photowatt pourrait automatiquement comprendre de tels fournisseurs.

4.2 Il existe un intérêt certain pour un consortium France-Canada chez le COMES et la Photowatt International SA. Leur principale question porte sur la contribution que le Canada peut apporter dans le secteur technique pour essayer de contrebalancer l'effort français considérable dans le domaine PV.

4.3. Le groupe CGE-Photowatt-SAFT-CIPEL ne semble pas manquer de fonds. Ses ressources internes sont considérables. De surcroît il dispose de l'appui financier d'Elf Aquitaine, la compagnie nationale de pétrole et, si le groupe CGE est nationalisé comme prévu, il disposera de l'aide directe du gouvernement français.

4.4 En raison de sa situation financière, le groupe CGE n'a pratiquement aucun intérêt à accueillir des investissements canadiens dans ses opérations en France. Cependant, il peut exister un certain intérêt pour un investissement en commun France-Canada chez des succursales de compagnies françaises au Canada et chez des compagnies canadiennes fabricant des produits utilisables dans les systèmes PV. À la condition que ces efforts soient complémentaires et non en concurrence, les deux pays en bénéficieraient. D'un point de vue français, certains débouchés sur l'Amérique du Nord pourraient s'ouvrir. Les compagnies canadiennes pourraient bénéficier d'un accès plus large aux marchés mondiaux pour certains produits.

4.5 Plusieurs développements portant sur des dispositifs et modules de cellules solaires réalisés par le groupe CGE-Photowatt, pourraient donner à un consortium des avantages sur la concurrence, à court terme et à long terme, en abaissant les coûts des modules. Parmi ces avantages classés dans l'ordre d'un délai prévu de mise en oeuvre:

4.5.1 Méthodes à faible coût de fabrication et d'application des électrodes.

4.5.2 Méthodes d'encapsulation améliorées faisant appel au plastique laminé et au verre fritté.

4.5.3 La production de ruban de silicium utilisant la méthode exclusive "RAD" dans laquelle le silicium est déposé sur un film de graphite.

4.6 A plus long terme, peut-être après cinq ans, il existe la possibilité de projets canadiens concernant les matières ou les dispositifs, qui pourraient permettre d'égaler l'apport français à un consortium. De tels projets pourraient comprendre la production à bas prix de silicium de qualité solaire, la production d'un dispositif de barrière de surface efficace et peu coûteux et, peut-être avec une probablilité moindre, la mise au point de dispositifs à alliages à plusieurs composants (quatre ou cinq) en couche mince ou de dispositifs à silicium amorphe. Cependant, dans un proche avenir, il est difficile de voir des développements canadiens dans les dispositifs et des modules qui puissent égaler les avantages mentionnés dans le paragraphe 4.5. Il apparaît donc que les améliorations apportées à court terme aux dispositifs et aux modules, accompagnées d'un abaissement de coût viendront du côté français plutôt que du côté canadien. Il apparaît alors que si les groupes canadiens doivent compenser la supériorité français dans la production des dispositifs et des modules, il faudra développer les connaissances canadiennes dans d'autres aspects des applications PV. Autrement, les Français auraient une position dominante écrasante dans n'importe quel arrangement coopératif.

4.7 Les développements français en matière de batteries, moteurs et pompes sont en avance sur ceux du Canada.

4.8 Un domaine dans lequel les compagnies canadiennes ont une réputation internationale est celui de la commande électronique, du conditionnement des signaux, de la simulation, etc. Un certain nombre de petites et moyennes compagnies ont des connaissances dans ce domaine qui pourraient être appliquées à la conception des circuits électroniques pour les commandes, la protection et le conditionnement de la puissance du courant fourni par les générateurs PV. Comme nous l'avons déjà noté, ce secteur est en évolution et il existe certains secrets industriels. Il y a lieu de croire que la Photowatt SA, qui est une compagnie relativement nouvelle, ne s'est pas concentrée sur cet aspect du développement des

systèmes PV et qu'une compagnie canadienne ayant une expérience en matière de commande électronique dans d'autres secteurs pourrait apporter une contribution utile à un effort coopératif.

Un grand nombre de dispositifs de conditionnement de la puissance sont assez compliqués et mettent en jeu une technologie des microprocesseurs qui augmente considérablement le coût. Par conséquent, il existe une tendance à omettre complètement certains aspects du conditionnement de la puissance sur les petits systèmes à cause des dépenses que cela implique. Comme nous l'avons déjà noté, cela ne représente pas une limitation sérieuse dans les régions tropicales et sub-tropicales mais cela pourrait compromettre considérablement le rendement dans les régions tempérées. Une compagnie d'électronique, adroite et ayant de l'expérience, peut être capable de développer des dispositifs peu coûteux de conditionnement pour des petits systèmes qui présenteraient ainsi un avantage considérable pour les applications en région tempérée. On peut aussi considérer, si le coût est assez bas, le gain net dans les régions plus proches de l'Équateur. Ce procédé semble être un secteur mûr pour l'exploitation.

4.9 On doit étudier l'effet des relations entre la Photowatt International SA et la Photowatt International Inc. sur une coopération franco-canadienne. Comme nous l'avons déjà noté, les deux compagnies sont actuellement largement contrôlées par la CGE et ses filiales, mais apparemment on essaye actuellement de trouver une compagnie américaine pour prendre la relève des opérations de Sensor Technology. Comment cela influencerait-il un accord franco-canadien portant sur tous les aspects des systèmes PV? Il est difficile de l'évaluer mais le fait que la CGE, par l'intermédiaire de la SAFT Corporation of America, a des intérêts importants dans une firme américaine pourrait influencer considérablement les relations futures.

4.10 La Photowatt SA, ou sa société-mère la Société française des photopiles, pourrait s'intéresser à l'un des fabricants canadiens existants de dispositifs et de modules PV si la structure de son capital changeait considérablement et s'il bénéficiait d'une aide massive de la part des capitaux canadiens et français. On

pourrait alors y transférer le procédé de production Photowatt et les modules fabriqués au Canada pourraient être exportés dans d'autres pays d'Amérique du Nord, d'Amérique centrale et d'Amérique du Sud.

Au lieu d'un investissement dans une compagnie PV canadienne existante la solution pourrait être la création d'une nouvelle filiale canadienne de la Photowatt SA utilisant des capitaux canadiens et français. Un tel arrangement ne pourrait être justifié que par un marché d'exportation bien développé, étant donné que le marché canadien est probablement trop étroit pour les compagnies canadiennes existantes.

Etant donné les liens actuels existants entre le Photowatt SA et la Photowatt Inc. il est probable qu'aucune des possibilités précédentes ne pourrait être envisagée pendant quelques années. Dans l'avenir immédiat, il semble qu'il soit préférable pour un partenaire canadien dans un consortium de se concentrer sur d'autres aspects du système PV. Une telle conclusion est bien entendu susceptible de changer si la direction de la Photowatt SA montrait un grand enthousiasme pour une entreprise canadienne de dispositifs et de modules PV et si elle était disposée à rajuster les objectifs prioritaires des deux compagnies Photowatt en fonction d'un tel arrangement.

4.11 Un facteur important d'un tel consortium serait l'accès aux marchés pour les deux participants. S'il était convenu que la responsabilité de différents éléments du système PV devait incomber exclusivement à l'un ou l'autre pays, cette condition d'accès aux marchés serait remplie automatiquement puisque chaque système contiendrait des produits des deux pays. Au contraire, si des systèmes complets étaient fabriqués séparément dans chaque pays, le marché de chacun des pays tomberait automatiquement dans sa propre sphère d'influence. A première vue, le premier arrangement semble le plus probable. Dans ce cas, il est important de s'assurer que certains éléments du système, peut-être les aspects de commande et de conditionnement de la puissance, deviennent surtout ou exclusivement canadiens.

5. CONSORTIUMS POSSIBLES AU CANADA

Après l'étude des facteurs importants mis en jeu, il est possible d'énumérer par ordre d'importance décroissante les composés suivants des systèmes PV qu'on peut fabriquer au Canada dans le cadre d'un accord franco-canadien:

5.1 Dispositifs et circiuts de commande et de conditionnement de la puissance

Nous avons déjà examiné les possibilités canadiennes dans ce domaine. Le Canada peut apporter une contribution technique immédiate. Si les français sont intéressés, on pourrait trouver et contacter un certain nombre de compagnies canadiennes, ou bien créer une nouvelle compagnie. Un investissement en commun pourrait être fait par le groupe des compagnies de la SFP et par un consortium canadien. Un tel investissement en commun serait probablement une condition des investisseurs français et viendrait à l'appui de l'argument avancé pour faire de la compagnie canadienne le seul fournisseur de matériel de commande et de conditionnement de la puissance pour le groupe des compagnies CGE-Photowatt.

5.2 Production de batteries pour les systèmes PV

Comme nous l'avons déjà mentionné. le groupe SAFT-CIPEL a plusieurs usines au Canada qui fabriquent des batteries spéciales et un embryon d'installation de systèmes à Toronto, Ontario. Il pourrait peut-être établir une usine de fabrication de batteries au plomb au Canada. Cependant, une étude récente effectuée par le COMES indique que deux groupes, Fulmen et Tudor, dépendant d'une autre filiale de la CGE, la Compagnie d'Énergie Accumulateurs (CEAc), fabrique des batteries qui sont le mieux adaptées aux applications PV et qui sont parmi les meilleures en Europe à cet égard. (Les deux autres compagnies dans la même catégorie sont Varta en Allemagne de l'Ouest et Oldham en Grande-Bretagne).

Un objectif à moyen terme acceptable pour un consortium pourrait être la production au Canada de batteries pour des applications PV destinées à la vente sur les marchés du nouveau monde. Il semble donc que les batteries de la CEAc seraient les plus appropriées et il serait peut-être possible de transférer cette

technologie sous licence à un fabricant de batteries existant déjà au Canada. Il faudrait explorer cette possibilité.

5.3 Montage de systèmes PV au Canada

Le potential pour les applications PV au Canada est élevé pendant la majeure partie de l'année. (A l'exception généralement, des mois de novembre, décembre et une partie de janvier). Cependant, étant donné les basses températures et, dans une grande partie du pays, l'enneigement considérable, les problèmes de conception sont différents de ceux de la plupart des autres pays. Il existe par conséquent, un argument puissant en faveur de la mise en place d'une installation pour la construction des systèmes au Canada, recevant probablement une aide financière de la France et du Canada. Une telle installation pourrait aussi servir des régions plus chaudes d'Amérique du Nord, d'Amérique Centrale et d'Amérique du Sud, profitant dans ce cas des connaissances du groupe de compagnies françaises de la CGE.

On pourrait obtenir une installation canadienne pour la fabrication des systèmes par la simple extension de l'installation de fabrication des systèmes du groupe SAFT-CIPEL, ou en apportant de l'aide à une compagnie canadienne déjà existante, ou à une nouvelle compagnie. La Photowatt SA ou une compagnie canadienne associée pourrait fournir des modules et la CEAc ou une firme canadienne fabricant sous licence pourrait fournir des batteries. Le principal contenu canadien pourrait être constitué par un groupe consacré à la commande et au conditionnement de la puissance au sein de la compagnie de fabrication de systèmes.

5.4 Fabrication des dispositifs et des modules PV au Canada

Comme nous l'avons déjà noté, cette possibilité pourrait être à plus long terme. Cependant, si les circonstances sont telles qu'un investissement en commun dans une compagnie canadienne existante est faisable, un investissement initial relativement faible pour améliorer le matériel de production utilisé pour le brasage des connexions et l'encapsulation porterait ses fruits assez rapidement sous la forme de modules améliorés et de coûts plus bas.

6. APPROCHE RECOMMANDÉE CONCERNANT DES CONSORTIUMS CANADIENS

L'objectif de la présente étude est de déterminer les possibilités les plus prometteuses d'un arrangement coopératif mettant en jeu un consortium canadien et un fabricant français des composants et des systèmes photovoltaïques. Pour les raisons déjà mentionnées, le meilleur partenaire français dans un tel arrangment semble être le groupe des compagnies de la SFP, dont la filiale qui fabrique les modules photovoltaïques est la Photowatt International SA et dont les groupes qui fabriquent les batteries sont des filiales de la CGE.

La meilleure façon d'approcher les dirigeants de ce groupe est par le canal du Commissariat à l'Énergie Solaire (COMES) qui est l'organisme de coordination et de financement du programme français consacré à l'énergie solaire. Tout arrangement coopératif entre des compagnies françaises et des compagnies canadiennes exigerait, presque certainement, le feu vert du COMES. Heureusement, le président du conseil d'administration M. le professeur Henry Durand semble être bien disposé à l'égard d'un tel arrangement et nous recommandons que la première approche soit faite auprès de lui. Son titre et son adresse sont:

M. le professeur Henry Durand
Président du Conseil d'administration
Commissariat à l'Énergie Solaire
208, rue Raymond-Losserand
75014 Paris, France
Tél.: 545.67.60
Télex: 203712F

7. FACTEURS EXIGEANT DES RECHERCHES

Avant d'entreprendre des négociations sérieuses pour établir un arrangement coopératif, il est important de savoir quelle est la position des filiales de la CGE en ce qui concerne leurs engagements actuels aux États-Unis. En particulier, il faudrait suivre les étapes suivantes:

7.1 Etablir le statut de la Photowatt International Inc., compagnie américaine qui est actuellement contrôlée par le groupe des compagnies de la CGE. Si l'intention est de transférer la technologie (Philips) de la Photowatt SA à la Photowatt Inc. et d'établir une production de modules aux États-Unis, la position à long terme du Canada dans un consortium pourrait s'affaiblir. Si un tel plan n'existe pas, on pourrait considérer éventuellement le Canada comme un site pour la production de modules utilisant la technologie ci-dessus, mettant en jeu un investissement franco-canadien dans une compagnie choisie à cet effet. Une compagnie canadienne déjà existante pourrait être la véhicule pour une production de démarrage au Canada.

7.2 Obtenir des détails concernant la fabrication réelle ou potentielle de batteries en Amérique du Nord. S'il n'y a pas de production aux États-Unis, en cours ou prévue, on pourrait envisager la production par une compagnie canadienne. Dans ce cas, il faudrait s'assurer des intentions du groupe SAFT-CIPEL concernant la production au Canada de batteries destinées aux applications PV.

7.3 Obtenir aussi des détails sur des arrangements coopératifs mettant en jeu la France et des groupes aux États-Unis, au Mexique, dans les Antilles, en Amérique centrale et en Amérique du Sud. Si de tels arrangements existent ou sont prévus, il faut absolument savoir quelle sera leur influence sur les débouchés pour un consortium franco-canadien dans ces pays.